

Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 1 288 329 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
05.03.2003 Patentblatt 2003/10

(51) Int Cl.⁷: **C23C 8/36, H01J 37/32**

(21) Anmeldenummer: **01121046.5**

(22) Anmeldetag: **03.09.2001**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

- Demokritov, Serguei O., Dr.
67663 Kalserslautern (DE)
- Roos, Björn F.P.
67067 Ludwigshafen (DE)
- Weller, Manfred, Dr.
53619 Rheinbreitbach (DE)
- Dahl, Roland
53545 Ockenfels (DE)

(71) Anmelder: **C C R GmbH**
Beschichtungstechnologie
53619 Rheinbreitbach (DE)

(72) Erfinder:
• Hillebrands, Burkard, Professor Dr.
67661 Kalserslautern (DE)

(74) Vertreter: **Eggert, Hans-Gunther, Dr.**
Räderscheldtstrasse 1
50935 Köln (DE)

(54) **Verfahren zur Herstellung dünner Oxid- oder Nitridschichten**

(57) Um bei der Herstellung dünner Oxid- oder Nitridschichten mittels eines Plasmastrahls aus einer Hochfrequenz-Plasmastrahlquelle nur das Substratmaterial in das entsprechende Oxid oder Nitrid umzuwandeln, ohne die darunterliegende ferromagnetische Schicht anzugreifen, werden die Ionenenergie und Ionenstrahldichte eines dichten hoch ionisierten quasi neutralen Plasmastrahls mit einem hohen Anteil an Sauerstoff oder Stickstoffspezies unabhängig voneinander kontrolliert. Damit kann die Reaktionsgeschwindigkeit unabhängig von der Penetrationstiefe eingestellt werden und es werden Oxid- oder Nitridschichten hoher Güte erhalten.

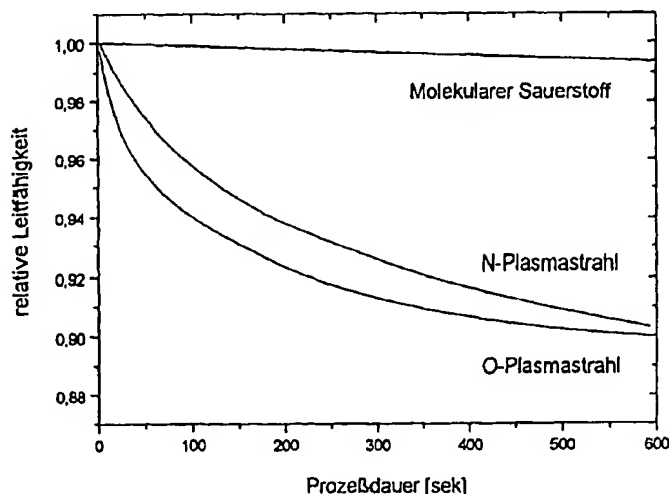


Fig. 2

EP 1 288 329 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft die Herstellung dünner, elektrisch hoch isolierender Filme aus bestimmten Oxid- oder Nitridschichten, z.B. Al_2O_3 oder AlN , indem der Plasmastrahl einer Hochfrequenz angeregten Plasmastrahlquelle auf ein Substrat gerichtet wird, um das Substratmaterial in das entsprechende Oxid oder Nitrid umzuwandeln.

[0002] Aluminiumoxid (Al_2O_3) ist heutzutage das bevorzugte Tunnelbarrieren-Material für Magnetowiderstands-Sensoren. Besser geeignet als die Oxide sind die Nitride, insbesondere Siliciumnitrid (Si_3N_4) oder auch Bornitrid (BN). Aufgrund der geringen Reaktivität von molekularem Stickstoff können mit den gängigen Verfahren bis dato keine Nitridschichten mit hinreichender Qualität erzeugt werden. Das Problem liegt darin, daß bei den üblichen Verfahren sehr hohe Ionenenergien benötigt werden, um die Nitridbildung einzuleiten. Die hohe Ionenenergie wiederum hat zur Folge, daß dadurch eine sehr große Anzahl von Defekten in die Tunnelstruktur eingebaut wird. Qualitativ hochwertige Nitrid-Tunnelbarrieren sind somit nicht bekannt.

[0003] Die Herstellung von Al_2O_3 -Barrierenschichten geschieht üblicherweise, indem eine dünne Al-Schicht (typischerweise 1-2 nm dick) durch einen Zerstäubungs- oder Verdampfungsprozeß aufgebracht und anschließend oxidiert wird. Für den Oxidationsprozeß kann dabei die thermische, die natürliche oder die plasmagestützte Oxidation verwendet werden. Die thermische Oxidation in Atmosphäre oder unter Vakuum ist sehr zeitaufwendig, unkontrollierbar und benötigt gegebenenfalls, wie im Fall der Oxidation unter Atmosphäre, daß das Vakuum gebrochen werden muß. Sie ist für die industrielle Herstellung von Oxiden eher unbrauchbar. Für die industrielle Fertigung konzentriert man sich auf die Plasmaoxidation durch eine Standard-Sauerstoff-Gasentladung.

[0004] Die EP-A-913 830 von P.S. Stephen beschreibt ein magnetisches Tunnelkontakt-Bauteil, in welchem die Tunnelbarriere durch Plasmaoxidation von 0,5 - 2 nm dicken Al-Schichten hergestellt wird. In einigen technischen Veröffentlichungen ist in ähnlicher Weise die Herstellung der Al_2O_3 Barrierenschicht durch Plasmaoxidation von Al beschrieben (s. z.B. J.J. Sun et al., Appl. Phys. Lett. 74 (1999) 448; W.J. Gallagher et al., J. Appl. Phys. 81 (1997) 3741; J.S. Moodera et al., Phys. Rev. Lett. 74 (1995) 3273).

[0005] Bei dem Prozeß der Plasmaoxidation einer Al-Schicht zu einer dünnen Al_2O_3 -Schicht können nach dem heutigen Stand der Technik die Reaktionsgeschwindigkeit, d.h. die Anzahl der Aluminium-Sauerstoff-Bindungen pro Zeiteinheit und auch die Penetrationstiefe, d.h. die Eindringtiefe des Sauerstoffteilchens in die Oberfläche bis zu dem Ort, an dem die chemische Bindung erfolgt, nicht kontrolliert werden. Es kommt entweder zu einer nicht vollständigen Oxidation der Al-Schicht oder zu einer nicht gewünschten teilweisen Oxi-

ation der ferromagnetischen Bodenelektrode. In beiden Fällen sinkt der magnetische Widerstand der Tunnelstruktur dramatisch aufgrund einer erhöhten Depolarisation im Übergangsbereich zwischen Bodenelektrode und Barrierenschicht (J.J. Sun et al., Appl. Phys. Lett. 74 (1999) 448). Da bei der herkömmlichen Plasmaoxidation weder die Massenzusammensetzung noch die Energieverteilung des auf die Oberfläche treffenden Plasmaflusses kontrolliert werden kann, ist die Qualität der Oxidschicht nicht optimierbar. Für einen optimalen Oxidationsprozeß in Bezug auf die Optimierung der Materialeigenschaften des Oxids ist es erforderlich, einen in der Ionenenergie, d.h. die kinetische Energie der Ionen, welche durch ihre Geschwindigkeit bestimmt ist, der Ionenstromdichte, d.h. die Anzahl der Ionen pro Flächen- und Zeiteinheit, sowie der Zusammensetzung (quantitatives Verhältnis der Moleküle, der Ionen und der atomaren Teilchen) wohl definierten bzw. kontrollierbaren Sauerstoffplasmastrahl zu verwenden.

[0006] Was bisher nicht möglich war, ist die unabhängige Variation der Ionenenergie sowie der Ionenstromdichte verbunden mit einem sehr hohen Anteil atomarer Spezies in einem großflächigen Plasmastrahl. Es gibt bis jetzt kein Verfahren, welches großflächig, d.h. mit mindestens 100 - 200 cm^2 , einen fast reinen Atomstrahl mit den hier vorliegenden Ionenenergie- und Stromdichtewerten liefert. Der Nachteil üblicher Verfahren liegt darin, daß die für die Oxidation bzw. Nitrierung notwendige Dissoziation des O_2 - bzw. N_2 -Moleküls allein durch die Stoß-Wechselwirkung des Ions beim Aufprall auf die Oberfläche des zu oxidierenden bzw. zu nitrierenden Materials erreicht wird. Um jedoch diese Stoß-Aktivierung effizient durchzuführen, muß insbesondere bei der Nitridbildung die kinetische Energie des Ions mindestens das Doppelte der Festkörperversetzungsenergie betragen. Die Festkörperversetzungsenergie gibt die Energie an, die benötigt wird, um ein im Volumen des Festkörpers chemisch gebundenes Atom aus seiner Bindung zu lösen und von seiner ursprünglichen ortspezifischen Position aus auf eine neue Position zu versetzen. Ist die Ionenenergie nun aber mindestens gleich der doppelten Festkörperversetzungsenergie, so sind die Ionen auch in der Lage, unerwünschte Defekte im Oxid oder Nitrid zu erzeugen.

[0007] Die vorliegende Erfindung hat die Aufgabe, eine verbesserte Herstellung dünner Oxid- und Nitridschichten hoher Güte für z.B. die Anwendung in magnetischen Tunnelbarrieren zu ermöglichen.

[0008] Die Aufgabe wird durch die Verwendung einer neuartigen Plasmaquelle gelöst, welche einen dichten hochionisierten, quasi neutralen Plasmastrahl mit einem hohen Anteil an Sauerstoff- oder Stickstoffspezies erzeugt und dabei eine unabhängige Kontrolle der Ionenenergie sowie der Ionenstromdichte erlaubt. Quasi neutral bedeutet, daß in dem Teilchen- bzw. Plasmastrahl pro Volumeneinheit genau gleich viele positive (in der Regel Ionen) als auch negative Ladungsträger (in der Regel Elektronen) vorhanden sind.

[0009] Gemäß dem Verfahren wird der Plasmastrahl auf die Oberfläche dünner Schichten von bestimmten Elementen gerichtet, um sie in Schichten entsprechenden Oxide oder Nitride umzuwandeln, wobei eine kontinuierliche, uniforme und defektfreie neue Schicht entsteht. Die Erfindung ermöglicht, daß zum ersten Mal atomare Plasmastrahlen mit wohl definierter kinetischer Energie, vorzugsweise zwischen der Oberflächenbindungsenergie und der Festkörpersversetzungsenergie, zur Herstellung von Oxid- bzw. Nitridschichten eingesetzt werden können. Die Oberflächenbindungsenergie ist die Energie, die benötigt bzw. aufgebracht werden muß, um ein an der Festkörperoberfläche chemisch gebundenes Atom aus seiner chemischen Bindung zu lösen.

[0010] Eine derartige Plasmaquelle ist detailliert in der eingereichten deutschen Patentanmeldung "Hochfrequenz-Plasmaquelle" mit dem Aktenzeichen 100 08 482.6 der Firma CCR GmbH, Beschichtungstechnologie beschrieben, und als COPRA Plasma Source 160 CF oder 200/CF im Handel.

[0011] Wirtschaftlich interessante Elemente zur Oxidation bzw. Nitridbildung sind:

Al ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{AlN}$), Mg (MgO), Ga (GaN), Ta ($\text{Ta}_2\text{O}_5/\text{TaN}$), Ti (TiN/TiO_2), Zn (ZnO), Zr (ZrN/ZrO_2), Y (Y_2O_3), YSZ [Yttria-stabilized-Zirconia], Si ($\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$), Ge (GeO), B (BN), C (CN_x).

[0012] Es können auch Verbundmaterialien, wie z.B. SiO_xN_y , hergestellt werden, wobei gerade SiO_xN_y wirtschaftlich sehr interessiert.

[0013] Das Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung besitzt eine Reihe von Vorteilen gegenüber den konventionellen Oxidations-/Nitridationstechniken. Die Plasmastrahlquelle erzeugt bei sehr geringen Prozeßdrücken von weniger als 10^{-2} mbar Plasmadichten in der Größenordnung von 10^{12} cm^{-3} , wobei die Energie E der Ionen zwischen 10 und 1.000 eV kontinuierlich eingestellt werden kann. Die Ionenenergieverteilung $\Delta E/E$, d.h. die Geschwindigkeitsverteilung der Ionen, ist bei dieser Plasmastrahlquelle kleiner 10 % und somit sehr schmal. Die Energie der Ionen kann somit sehr präzise eingestellt werden. Im Falle von zweiatomigen Gasen, wie O_2 und N_2 wird ein Dissoziationsgrad, d.h. das Verhältnis der atomaren Teilchenzahl zur absoluten Zahl von Teilchen im Plasma, von über 80 % erreicht. Konventionelle Plasmaquellen erzielen maximal 30 %. Zusätzlich wird ein Ionisationsgrad, d.h. die Zahl der Ionen im Verhältnis zur Gesamtzahl der Teilchen im Plasma, von mindestens 25 % erreicht, im Vergleich zu etwa 5 % in konventionellen Plasmaentladungen. Insofern wird der Prozeß der Oxidation bzw. Nitridation durch den Einsatz von atomaren Teilchen höchst effizient. Die Geschwindigkeit des Prozesses wird über die Ionenstromdichte gesteuert. Die Reaktionsgeschwindigkeit kann dabei zwischen 5×10^{14} bis 5×10^{16} Bindungsprozessen pro Sekunde betragen. Die Tiefe des Oxidations- bzw. Nitridationsprozesses kann durch eine definierte Auswahl der Ionenenergie kontrolliert

werden. Typische Eindringtiefen sind 1 bis 10 nm, wobei die Eindringtiefe bis auf $\pm 0,1$ nm genau gesteuert werden kann.

[0014] So wird mit sehr hoher Präzision nur die zu bearbeitende Schicht behandelt und eine Beeinflussung der darunter liegenden Schichten wird vermieden. Der geringe Prozeßgasdruck und die kurze Prozeßzeit gewährleisten, daß praktisch keine schädlichen Verunreinigungen während des Schichtwachstums in die Barrierschicht eingebaut werden. Durch Hinzufügen von Argon zu dem Prozeßgas (O_2 oder N_2) werden günstige Voraussetzungen geschaffen, daß Grenzflächen zwischen den ferromagnetischen Elektroden und der Isolierschicht mit reduzierter Oberflächenrauigkeit entstehen. Dieses Verfahren ist voll kompatibel mit existierenden Produktionssystemen und schließt ein Brechen des Vakuums aus.

[0015] Die erfindungsgemäße Herstellung der Oxide bzw. Nitride erfolgt kontrolliert und effizient mit hoher Präzision und Reproduzierbarkeit. Eine der möglichen Anwendungen ist die Herstellung von Magnetwiderständen in Tunnelstrukturen, um die Isolierung zwischen den ferromagnetischen Elektroden sicherzustellen. Weitere Anwendungsmöglichkeiten bestehen in der Erzeugung von Diffusionsbarrieren, der Erzeugung von Isolationsschichten bei der Herstellung von integrierten Halbleiterschaltkreisen oder der Erzeugung von Isolationsschichten für kapazitive Bauelemente, wie z.B. Kondensatoren.

[0016] Die folgende Ausführung beschreibt anhand der Zeichnungen die Herstellung von Magnetowiderstands-Sensoren (auch Tunnelstruktur genannt) aus Aluminiumoxid (Al_2O_3), beispielhaft die Herstellung dünner, elektrisch hoch isolierender Schichten entsprechend der vorliegenden Erfindung.

Fig. 1a zeigt (schematisch) den Oxidationsprozeß bei der Herstellung von Magnetowiderstands-Sensoren oder Tunnelstrukturen

Fig. 2 zeigt die Veränderung der relativen Leitfähigkeit einer 10 nm dicken Aluminium-Schicht

Fig. 3 zeigt die Abhängigkeit der Oxidationstiefe von der Ionenenergie

Fig. 4 zeigt die Abhängigkeit der Prozessgeschwindigkeit von der Ionenstromdichte

[0017] Fig. 1a zeigt den Oxidationsprozeß am Beispiel einer Tunnelstruktur. Auf dem Siliziumsubstrat (1) wurden eine ferromagnetische Elektrode (2) sowie eine Aluminiumschicht (3) mit definierter Dicke (etwa 1 - 2 nm) aufgebracht. Die Aluminiumschicht (3) wurde wie üblich durch Sputtern oder Elektronenstrahlverdampfen aufgetragen. Danach wird die Aluminiumschicht (3) oxidiert, indem sie dem Teilchenstrahl (4) der Plasmaquelle COPRA (5) ausgesetzt wird. Fig. 1b zeigt den prinzipi-

ellen Aufbau einer fertigen Tunnelstruktur: Siliciumsubstrat (1), untere ferromagnetische Elektrode (2), oxidierte Aluminiumschicht (6) sowie die im Anschluß an den Oxidationsprozeß aufgebrauchte obere ferromagnetische Elektrode (7). Der Oxidationsprozeß verläuft um so schneller, je höher der Anteil an atomarem Sauerstoff und je größer die Ionenstromdichte im Teilchenstrahl ist. Die Oxidationstiefe, d.h. die mittlere Eindringtiefe, kann über die Ionenenergie sehr gut eingestellt und kontrolliert werden. Da der Teilchenstrahl eine sehr schmale Energieverteilung von weniger als 10 % der mittleren Energie aufweist, kann präzise jede Ionenenergie zwischen der Oberflächenbindungsenergie und der Oberflächenaktivierungsenergie, d.h. etwa zwischen 10 und 50 eV, eingestellt werden. Somit werden Schadstellen vermieden und gute Schichtqualitäten sichergestellt. Üblicherweise kann Argon dem Prozeßgas beigemischt werden, um die Oberflächenrauhigkeit der Oxidschicht zu verringern. Nach Abschluß der Oxidation erhält man eine dünne stöchiometrische Al_2O_3 -Schicht.

[0018] Fig. 2 zeigt den Vorteil eines hauptsächlich aus atomaren Spezies (O oder N) bestehenden Teilchenstrahls gegenüber einer Behandlung mit molekularem Sauerstoff. Der molekulare Sauerstoff bewirkt innerhalb einer Behandlungsdauer von 10 min praktisch keine Oxidation bzw. Änderung der Leitfähigkeit. Ein atomarer Sauerstoff- bzw. Stickstoff-Teilchenstrahl dagegen verursacht einen erheblichen Abfall der relativen Leitfähigkeit, da die Metallschicht effizient oxidiert bzw. nitriert wird.

[0019] Das oben beschriebene Verfahren kann unter Verwendung von Stickstoff als Prozeßgas ebenso zur Bildung dünner AlN-Schichten genutzt werden. Ebenso können weitere Schichten wie z.B. NiO, MgO oder BN hergestellt werden.

[0020] Die Dicke der gewünschten Schicht wird über die Ionenenergie, die Geschwindigkeit der Oxidation bzw. Nitrierung über die Ionenstromdichte eingestellt. Fig. 3 und Fig. 4 verdeutlichen diesen Zusammenhang am Beispiel der Oxidation von Aluminium. Die gewünschte Ionenenergie wird durch eine in der Plasmaquelle integrierte Regelung eingestellt. Die Ionenstromdichte wird über die eingespeiste Hochfrequenz-Leistung variiert.

[0021] Ein Ion mit einer bestimmten kinetischen Energie verliert nach dem Eindringen in den Festkörper, d. h. auf dem Weg in die Tiefe, kontinuierlich an Energie. Nach Durchlaufen einer bestimmten Wegstrecke ist seine gesamte ursprünglich vorhandene Energie aufgebraucht und es kommt zur Ruhe. Dort wo es zu Ruhe kommt, gibt es eine chemische Bindung. Die maximale Reichweite, d.h. die Eindringtiefe eines Ions, ist somit eine Funktion der kinetischen Energie, welche die Ionen beim Eintreten in die Oberfläche besitzen. Die Umwandlung einer dünnen Aluminiumschicht in eine Aluminiumoxidschicht läuft dann wie folgt ab: Steht die Oberfläche der Aluminiumschicht unter kontinuierlichem Beschuß durch einen Ionenstrahl, so dringen zuerst die Sauer-

stoffionen, abhängig von ihrer kinetischen Energie, in die entsprechende Tiefe vor und oxidieren dort das Aluminium vollständig. Sind an dieser Stelle alle möglichen Bindungsplätze besetzt, so wandern die Sauerstoffatome wieder zurück in Richtung Oberfläche und gehen an dem nächst freien Bindungsplatz eine chemische Bindung ein. Dies geschieht solange bis die gesamte Oberflächenschicht in Oxid umgewandelt wurde. Die Oxidation verläuft also von der Tiefe heraus an die Oberfläche. Gleiches gilt für den Nitrierungsprozeß.

[0022] In Fig. 3 ist der lineare Zusammenhang zwischen Penetrationstiefe und der Ionenenergie dargestellt. Über die Variation der Ionenenergie kann somit sehr präzise die maximale Dicke der oxidierten Schicht eingestellt werden.

[0023] Die Ionenstromdichte bestimmt, wie viele Sauerstoffatome pro Zeiteinheit und pro Flächeneinheit auf die Oberfläche des zu oxidierenden bzw. nitrierenden Materials treffen. Bei einem atomaren Plasmastrahl mit einer Ionenstromdichte von 1 mA/cm^2 bedeutet dies, daß etwa 6×10^{15} Atome/ $\text{cm}^2 \text{ s}$ auf die Oberfläche treffen und somit für die Oxidation bzw. Nitrierung zu Verfügung stehen. Wie schnell die für die vollständige Oxidation bzw. Nitrierung eines bestimmten Volumens notwendige Gesamtdosis an Sauerstoffatomen erreicht ist, wird somit durch die Ionenstromdichte bestimmt.

[0024] Wie in Fig. 4 dargestellt, besteht ein linearer Zusammenhang zwischen der Prozeßgeschwindigkeit und der Ionenstromdichte.

[0025] Die Einstellbarkeit der Ionenenergie sowie der Ionenstromdichte ermöglichen somit die erfindungsgemäße Herstellung besonders hochwertiger, d.h. defektfreier Schichten mittels dem Verfahren der dynamischen Tiefenoxidation bzw. Tiefennitrierung.

[0026] Berücksichtigt man, daß die Umwandlung in ein Oxid oder ein Nitrid von der Tiefe zur Oberfläche geschieht, so liegt es nahe, die Eindringtiefe der reaktiven Spezies (N oder O) zeitlich auf die Wachstumsgeschwindigkeit abzustimmen. Bei konstanter kinetischer Energie und konstanter Stromdichte ist nach der Zeit t_0 ein Volumenbereich ΔV in der Tiefe vollständig umgewandelt. Ein weiteres Eindringen von O- oder N-Atomen in diesen Bereich kann sich für die Ausbildung eines qualitativ hochwertigen Oxids oder Nitrids nur nachteilig auswirken. Bei weiterem Beschuß eines bereits vollständig oxidierten, nitrierten Bereichs kann es somit in diesem Bereich zur Bildung von Defekten kommen. Es entsteht ein minderwertiges Oxid oder Nitrid.

[0027] Der erfindungsgemäße dynamische Nitrierungs- bzw. Oxidationsprozeß läuft dann wie folgt ab: Zuerst wird die gewünschte Schichtdicke über die Eindringtiefe durch die Wahl der entsprechenden Energie festgelegt. Diese Energie gilt als Ausgangswert und bestimmt die maximale Prozeßtiefe. Die Wahl einer bestimmten Stromdichte bestimmt die Ausbreitungs- bzw. Wachstumsgeschwindigkeit des Oxid- bzw. Nitrid-Bereichs zur Oberfläche hin. Die Ionenenergie wird nun kontinuierlich in dem Maße verringert, daß die eindrin-

genden Atome stets nur in eine solche Tiefe vordringen, in der Sauerstoff- bzw. Stickstoffatome noch zur chemischen Bindung benötigt werden. Zur Oxidation einer Aluminiumschicht wird z.B. bei einer Energie von 40 eV und einer Stromdichte von 0,24 mA/cm² eine Ausgangstiefe (maximale Prozeßtiefe) von 1 nm eingestellt. Die Wachstumsgeschwindigkeit beträgt 0,2 nm pro sec. Die Energie wird dabei innerhalb von 5 Sekunden von 40 auf 0 eV kontinuierlich reduziert.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung dünner Oxid- oder Nitridschichten mittels eines Plasmastrahls aus einer Hochfrequenz-Plasmastrahlenquelle, um das Substratmaterial in das entsprechende Oxid oder Nitrid umzuwandeln, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Reaktionsgeschwindigkeit unabhängig von der Penetrationstiefe eingestellt werden kann. 15 20
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Reaktionsgeschwindigkeit über die Ionenstromdichte des Teilchenstrahls eingestellt wird. 25
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Reaktionsgeschwindigkeit über den Ionisations- oder Dissoziationsgrad des Teilchenstrahls eingestellt wird. 30
4. Verfahren nach Anspruch 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Penetrationstiefe über die Ionenenergie des Teilchenstrahls eingestellt wird. 35
5. Verfahren nach Anspruch 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Energie der Ionen des Teilchenstrahls gleichförmig ist. 40
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Energie der Ionen des Teilchenstrahls zwischen der Oberflächenbindungsenergie und der Festkörpersversetzungsenergie liegt. 45
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Plasmastrahl einen Anteil an atomaren Teilchen von über 70 % aufweist. 50
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, daß** bei einem Prozeßdruck von weniger als 10⁻² mbar gearbeitet wird. 55
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Behandlung bei Temperaturen von 50 °C bis 150 °C stattfindet.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, daß** dem Prozeßgas aus O₂ oder N₂ Argon hinzugefügt wird.

5 11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, daß** das in das entsprechende Oxid oder Nitrid umzuwandelnde Substratmaterial Aluminium, Magnesium, Gallium, Tantal, Titan, Zink, Zirkonium, Yttrium, Nickel, Silicium, Germanium, Bor oder Kohlenstoff ist. 10

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, daß** man die Ionenenergie, ausgehend von einem Wert für die maximale gewünschte Eindringtiefe, in dem Maße verringert, daß die Sauerstoff- oder Stickstoffatome nur in eine solche Tiefe vordringen, in der sie noch zur chemischen Bindung benötigt werden.

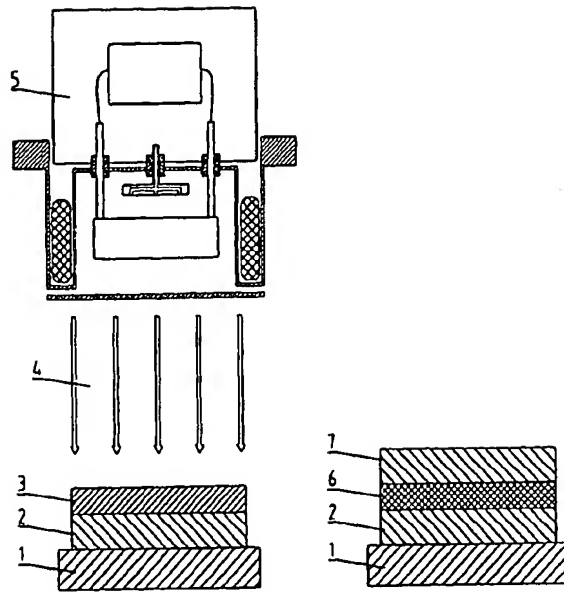


Fig. 1a

Fig. 1b

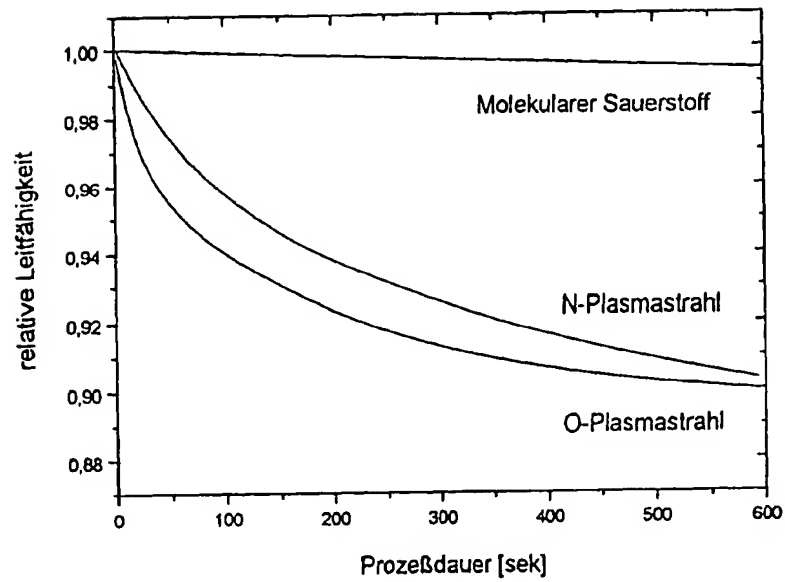


Fig. 2

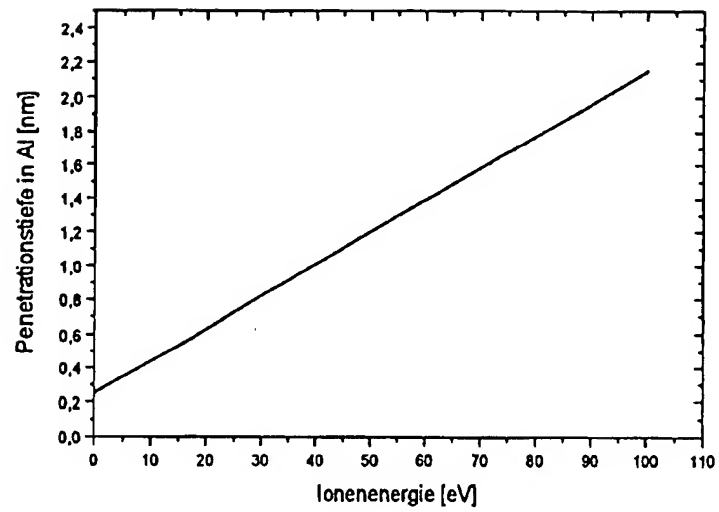


Fig. 3

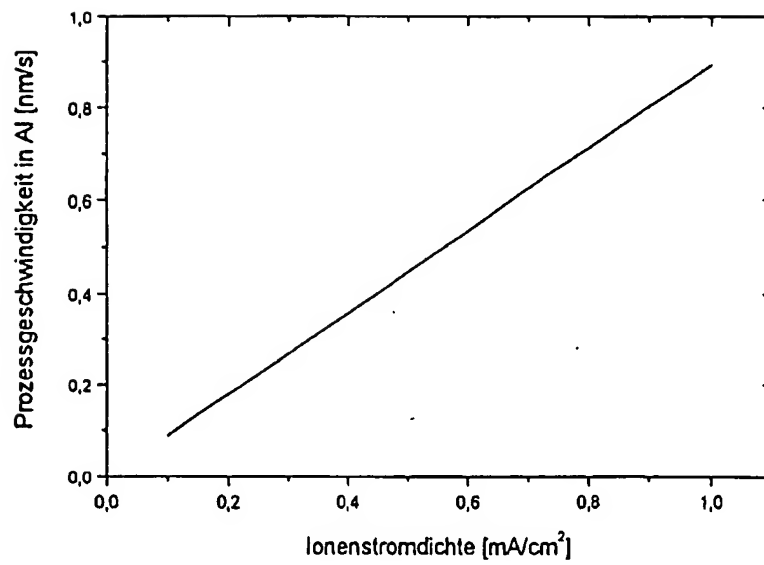


Fig. 4



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 01 12 1046

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
X	US 5 859 404 A (RONGHUA R. WEI) 12. Januar 1999 (1999-01-12) * Spalte 3, Zeile 53 - Zeile 59 * * Spalte 4, Zeile 43 - Zeile 63; Ansprüche 1-17; Abbildungen 1-8 *	1-5, 8	C23C8/36 H01J37/32
A	US 5 763 017 A (TIHIRO OHKAWA) 9. Juni 1998 (1998-06-09) * Spalte 3, Zeile 11 - Zeile 18; Ansprüche 1, 7 * * Spalte 5, Zeile 38 - Zeile 53 *	1-3	
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1996, no. 06, 28. Juni 1996 (1996-06-28) & JP 08 035053 A (LIMES:KK;OTHERS: 03), 6. Februar 1996 (1996-02-06) * Zusammenfassung *	1, 2	
A	US 5 443 663 A (EFSTATHIUS MELETIS) 22. August 1995 (1995-08-22) * Spalte 3, Zeile 1 - Zeile 16; Anspruch 1 * * Spalte 5, Zeile 18 - Zeile 43 *	1	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7) C23C H01J
A	US 5 159 170 A (JAMES P. LEVIN) 27. Oktober 1992 (1992-10-27) * Spalte 3, Zeile 27 - Zeile 44; Anspruch 1 *	1, 2	
E	DE 100 08 482 A (CCR GMBH-BESCHICHTUNGSTECHNOLOGIE) 13. September 2001 (2001-09-13) * Spalte 3, Zeile 50 - Zeile 58; Ansprüche 1-26 *	1-8	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenamt DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 15. Februar 2002	Prüfer Elsen, D
<p>KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE</p> <p>X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund I : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur</p> <p>T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument % : Mitglied der gleichen Patentfamilie, überreicht im selben Dokument</p>			

EPF FORM 1603 (03.92) (P44C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 01 12 1046

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am 15-02-2002.
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

15-02-2002

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 5859404	A	12-01-1999	CA	2207273 A1	17-04-1997
			EP	0797838 A1	01-10-1997
			JP	10503554 T	31-03-1998
			WO	9714172 A1	17-04-1997
US 5763017	A	09-06-1998	JP	10176269 A	30-06-1998
JP 08035053	A	06-02-1996	JP	3050361 B2	12-06-2000
US 5443663	A	22-08-1995	US	5334264 A	02-08-1994
US 5159170	A	27-10-1992	JP	2074582 C	25-07-1996
			JP	6044940 A	18-02-1994
			JP	7093120 B	09-10-1995
DE 10008482	A	13-09-2001	DE	10008482 A1	13-09-2001
			AU	3926901 A	03-09-2001
			WO	0163981 A1	30-08-2001

EPC FORM 30461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82